

Bouche artificielle numérique

Réunion ANR CAGIMA
19/20 juin 2012

Tâche 3 : Réalisation I

Concevoir des prototypes d'instruments logiques et virtuels

ST3a : Instruments acoustiques (cf exposés précédents)

ST3b : Instruments numériques

« fournir des prototypes d'instruments numériques déduits de la tâche de conception [...] jouables par un musicien, [...] compatible avec les contraintes temps réel »,

« choisir les méthodes de discrétisation numérique adaptées [...] et les mettre en œuvre dans des logiciels dédiés à la synthèse temps réel développés au LMA ou à l'IRCAM »,

« accélérer les cycles *Analyse - Conception - Réalisation (numérique)* ».

Livrables

L3.5 algorithmes compatibles temps-réel

L3.6 implémentation temps-réel

L3.7 prototypes numériques jouables

- Compléter les modèles par confrontation avec l'expérience en auto-oscillations,
- Transposer dans le domaine numérique compatible temps-réel,
- Valider les modèles numériques,
- Adapter aux contrôleurs existants/disponibles,
- Calibrer les modèles

Plateformes disponibles

MODALYS créer des instruments virtuels à partir d'objets physiques simples, à partir de mesures ou même à partir de maillage 3D, J. Bensoam (IRCAM)

Procédé de simulation et de synthèse numérique... par transcription de la relation d'impédance (ou admittance) Breveté en 2004, Ph. Guillemain (LMA)

MOREESC simulation temporelle basée sur la décomposition modale du résonateur acoustique, F. Silva (LMA).

sans oublier les travaux de JOSIII, de Scavone et de van Walstijn avec une formulation en guides d'ondes.

Décomposition modale

Méthodologie : ramener les phénomènes d'acoustique linéaire au niveau de l'entrée du résonateur, et chercher une représentation paramétrique de l'impédance d'entrée.

Descrive des effets (les *résonances*) plutôt que les causes (la *géométrie*).

$$Z_e(\omega) \simeq \sum_{n>0} \frac{C_n}{j\omega - s_n} + \frac{C_n^*}{j\omega - s_n^*} \quad s_n, C_n \in \mathbb{C}.$$

Les poles s_n et résidus C_n contiennent les fréquences de résonance ω_n , les amortissements q_n , et les amplitudes Z_n :

$$\omega_n = |s_n|, \quad q_n = \frac{\Re(s_n)}{2|s_n|}, \quad Z_n = \frac{\Re(C_n)}{-\Re(s_n)}.$$

avec la condition $\Re(s_n C_n^*) = 0$.

Facilités numériques

On modélise l'impédance d'entrée par une association en série de résonateurs simples :

$$p(t) = 2 \sum_{n=1}^N p_n(t) \text{ avec } \dot{p}_n(t) = C_n u(t) + s_n p_n(t).$$

Transposition au domaine du temps discret

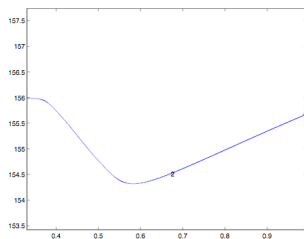
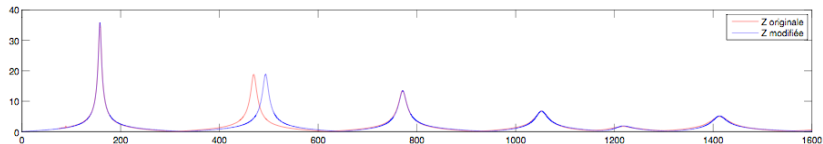
- schéma aux différences finies
- transformation bilinéaire
- ✓ invariance de la réponse impulsionnelle.

soit N filtres numériques d'ordre 2 :

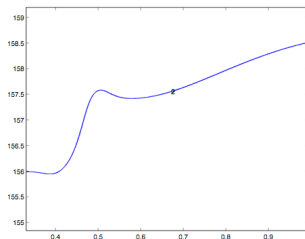
$$p_n[k] = f(p_n[k-1], p_n[k-2], u[k], u[k-1]).$$

Manipulations modales

Possibilités de manipuler les coefficients modaux indépendamment.



Clarinette originale



Clarinette modifiée

Suggestions

Diviser pour régner

- 1 Optimisation des coefficients modaux avec des critères sur l'impédance résultante (facile) et sur les auto-oscillations,
- 2 Recherche d'une géométrie liée aux coefficients modaux optimaux

Pour aller plus loin...

Manlab (LMA) : explorer les propriétés dynamiques des auto-oscillations.
Formalisme basé sur la décomposition modale (S. Karkar, 2011).

Mode bourrin enclenché

Méthodes de continuation \sim matrice jacobienne du système

\rightarrow Optimisation sur (s_n, C_n) avec un critère basé sur les auto-oscillations.

Robustesse de la décomposition modale

Cas usuel : extraction des modes propres à partir d'observations multiples.
Ici : observation depuis l'entrée du résonateur uniquement.

Diverses méthodes d'estimation modale

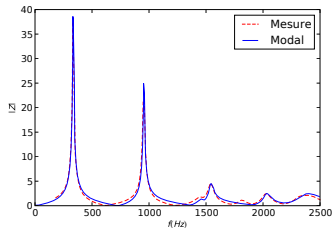
- Optimisation «bourrine» à $3N$ coefficients \mathbb{R} ,
- Itérations sur des ajustements à 3 coefs sur une bande restreinte,
- Méthode des cercles de Kennelly,
- Décomposition basé sur celle de fonction connues (tan par exemple)
- Modalys : FEM à partir de la géométrie. . .

Chacune a ses cas d'utilisation, aucune ne paraît «universelle»

Troncature modale...

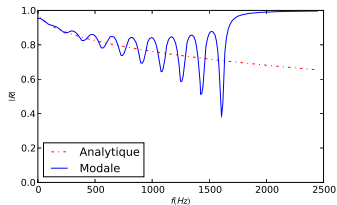
Antirésonances

Poles \leftrightarrow pics d'impédance

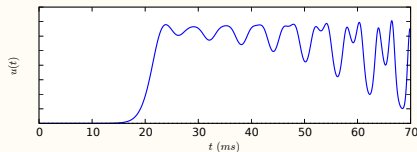


Comportement HF

Réflexion parfaite en HF



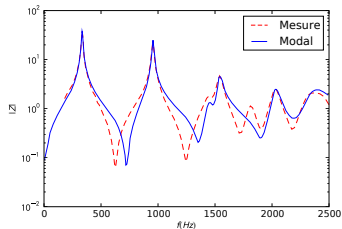
Conséquence sur la synthèse



Troncature modale...

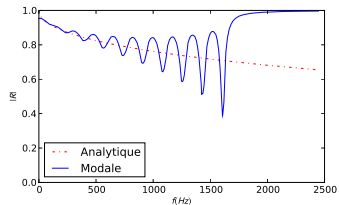
Antirésonances

Manque de symétrie

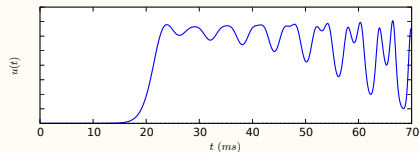


Comportement HF

Réflexion parfaite en HF



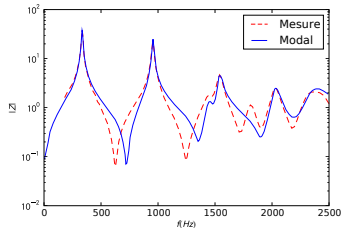
Conséquence sur la synthèse



Troncature modale...

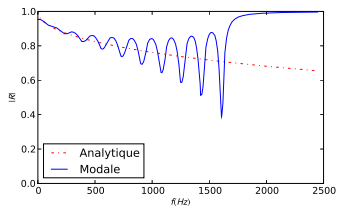
Antirésonances

Manque de symétrie

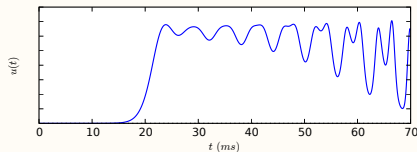


Comportement HF

Réflexion parfaite en HF



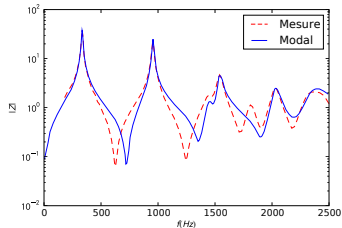
Conséquence sur la synthèse



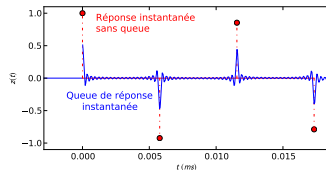
Troncature modale...

Antirésonances

Manque de symétrie



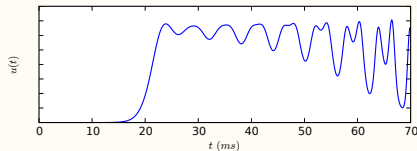
Comportement HF



Système propagatif

!= Association de résonateurs

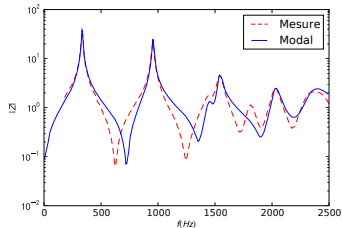
Conséquence sur la synthèse



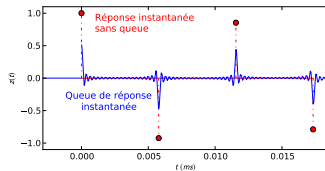
Troncature modale...

Antirésonances

Manque de symétrie



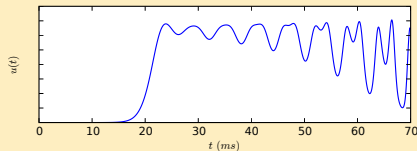
Comportement HF



Système propagatif

! = Association de résonateurs

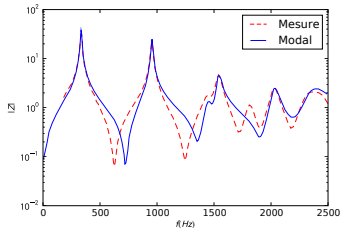
Conséquence sur la synthèse



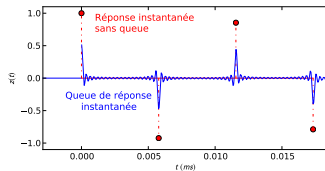
Troncature modale...

Antirésonances

Manque de symétrie



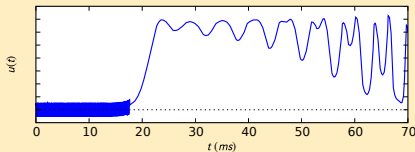
Comportement HF



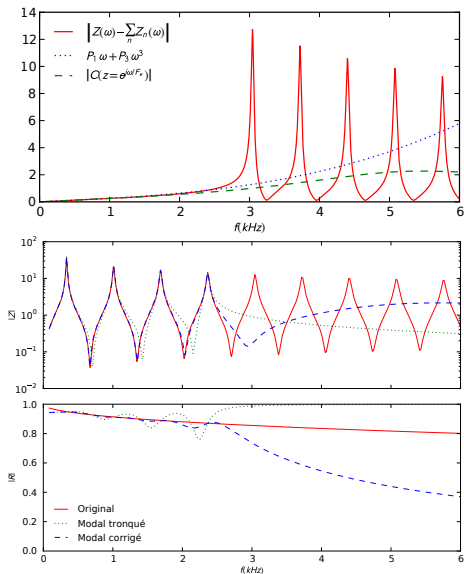
Système propagatif

! = Association de résonateurs

Conséquence sur la synthèse



... une solution

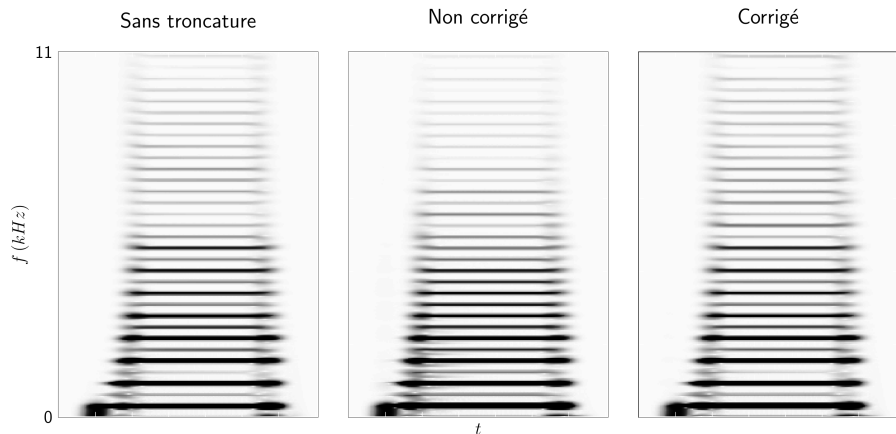


Filtre C passe-haut du 2ème ordre (surtension faible) :

- $Z \rightarrow Z_c$ en HF
- $h(t = 0^+)$ corrigé
- $C \sim$ résidu de la troncature en BF

À adapter aux résonateurs avec éléments localisés à l'entrée (tous sauf le modèle simple de clarinette !)

Synthèse sonore modale avec terme correctif



- Rectification du taux d'harmoniques pairs
- Présence d'harmoniques au-delà de la troncature.

Avantages

- Transposition temps continu \rightarrow temps discret aisée
- Faible coût numérique
- Manipulations directes des résonances acoustiques

Inconvénient

- Décomposition modale relativement peu robuste
- Effets de la troncature modale

Suggestion : diviser pour régner

- 1 Optimisation des coefficients modaux avec des critères sur l'impédance résultante (facile) et sur les auto-oscillations,
- 2 Recherche d'une géométrie liée aux coefficients modaux optimaux